

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6951164号
(P6951164)

(45) 発行日 令和3年10月20日(2021.10.20)

(24) 登録日 令和3年9月28日(2021.9.28)

(51) Int.Cl.	F I	
CO1B 32/168 (2017.01)	CO1B 32/168	Z NM
B82Y 40/00 (2011.01)	B82Y 40/00	
HO1B 13/00 (2006.01)	HO1B 13/00	5 O 1 Z
HO1B 1/04 (2006.01)	HO1B 1/04	
HO1B 5/02 (2006.01)	HO1B 5/02	Z
請求項の数 13 (全 20 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2017-173996 (P2017-173996)
 (22) 出願日 平成29年9月11日 (2017. 9. 11)
 (65) 公開番号 特開2019-48745 (P2019-48745A)
 (43) 公開日 平成31年3月28日 (2019. 3. 28)
 審査請求日 令和2年4月24日 (2020. 4. 24)

(73) 特許権者 000005119
 日立造船株式会社
 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番8
 9号
 (74) 代理人 100110847
 弁理士 松阪 正弘
 (74) 代理人 100136526
 弁理士 田中 勉
 (74) 代理人 100136755
 弁理士 井田 正道
 (72) 発明者 井上 鉄也
 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番8
 9号 日立造船株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カーボンナノチューブ成形体の製造方法およびカーボンナノチューブ成形体製造装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

カーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、

a) 基板上に立設したカーボンナノチューブの集合であるカーボンナノチューブアレイを準備する工程と、

b) 前記カーボンナノチューブアレイと前記基板との接合部に剥離部材を当接させた状態で、前記剥離部材を前記基板に対して相対的に移動することにより、前記カーボンナノチューブアレイを前記基板上から剥離させ、前記カーボンナノチューブアレイのうち前記基板上から剥離した部位である剥離アレイ部を、前記剥離部材に対して所定の剥離部移動方向に相対的に移動させる工程と、

c) 前記剥離アレイ部を、前記剥離部移動方向に対して傾斜する引出方向へと引き出すことにより、前記剥離アレイ部の前記引出方向に延びるカーボンナノチューブシートを形成する工程と、

を備え、

前記カーボンナノチューブアレイの嵩密度 $D \text{ mg / cm}^3$ と、前記カーボンナノチューブアレイの厚さ $L \text{ } \mu\text{m}$ との関係が、 $D > 300 \times L^{-0.5}$ であることを特徴とするカーボンナノチューブ成形体の製造方法。

【請求項2】

請求項1に記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、

前記引出方向と前記剥離部移動方向との成す角度の絶対値が45度以下であることを特

徴とするカーボンナノチューブ成形体の製造方法。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、
前記引出方向が、前記剥離部移動方向から前記剥離アレイ部の下面側に向かって傾斜することを特徴とするカーボンナノチューブ成形体の製造方法。

【請求項 4】

請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 つに記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、
前記剥離アレイ部または前記カーボンナノチューブシートを加熱する工程をさらに備えることを特徴とするカーボンナノチューブ成形体の製造方法。

10

【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 つに記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、
d) 前記 c) 工程よりも後に、前記カーボンナノチューブシートを幅方向において集めることにより、線状のカーボンナノチューブワイヤを形成する工程をさらに備えることを特徴とするカーボンナノチューブ成形体の製造方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、
前記 d) 工程において、前記カーボンナノチューブシートが撚られることにより前記カーボンナノチューブワイヤが形成されることを特徴とするカーボンナノチューブ成形体の製造方法。

20

【請求項 7】

請求項 5 または 6 に記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、
前記 d) 工程よりも後に、前記カーボンナノチューブワイヤを長手方向に伸張する工程をさらに備えることを特徴とするカーボンナノチューブ成形体の製造方法。

【請求項 8】

請求項 5 ないし 7 のいずれか 1 つに記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、
前記カーボンナノチューブワイヤを加熱する工程をさらに備えることを特徴とするカーボンナノチューブ成形体の製造方法。

30

【請求項 9】

カーボンナノチューブ成形体製造装置であって、
カーボンナノチューブの集合であるカーボンナノチューブアレイが立設した基板を保持する基板保持部と、

前記カーボンナノチューブアレイと前記基板との接合部に当接する剥離部材と、
前記剥離部材を前記基板に対して相対的に移動することにより、前記カーボンナノチューブアレイを前記基板上から剥離させ、前記カーボンナノチューブアレイのうち前記基板上から剥離した部位である剥離アレイ部を、前記剥離部材に対して所定の剥離部移動方向に相対的に移動させる移動機構と、

前記剥離アレイ部を、前記剥離部移動方向に対して傾斜する引出方向へと導くガイド部と、

40

前記剥離アレイ部を前記引出方向へと引き出すことにより、前記剥離アレイ部の前記引出方向に延びるカーボンナノチューブシートを形成する引出機構と、
を備え、

前記ガイド部が、幅方向に延びるとともに前記剥離アレイ部に接するガイド面を備え、
前記ガイド面が、前記幅方向の中央部において前記幅方向の両端部よりも凹む凹面である
ことを特徴とするカーボンナノチューブ成形体製造装置。

【請求項 10】

カーボンナノチューブ成形体製造装置であって、
カーボンナノチューブの集合であるカーボンナノチューブアレイが立設した基板を保持

50

する基板保持部と、

前記カーボンナノチューブアレイと前記基板との接合部に当接する剥離部材と、

前記剥離部材を前記基板に対して相対的に移動することにより、前記カーボンナノチューブアレイを前記基板上から剥離させ、前記カーボンナノチューブアレイのうち前記基板上から剥離した部位である剥離アレイ部を、前記剥離部材に対して所定の剥離部移動方向に相対的に移動させる移動機構と、

前記剥離アレイ部を、前記剥離部移動方向に対して傾斜する引出方向へと導くガイド部と、

前記剥離アレイ部を前記引出方向へと引き出すことにより、前記剥離アレイ部の前記引出方向に延びるカーボンナノチューブシートを形成する引出機構と、

前記剥離部材と前記ガイド部との間に配置され、前記剥離アレイ部の幅方向の幅よりも小さい幅の溝部を有する中間密集部と、

を備え、

前記剥離アレイ部が前記中間密集部の前記溝部を通過することにより、前記剥離アレイ部のカーボンナノチューブが幅方向に集められることを特徴とするカーボンナノチューブ成形体製造装置。

【請求項 1 1】

請求項 9 または 1 0 に記載のカーボンナノチューブ成形体製造装置であって、

前記剥離アレイ部または前記カーボンナノチューブシートを加熱する加熱部をさらに備えることを特徴とするカーボンナノチューブ成形体製造装置。

【請求項 1 2】

請求項 9 ないし 1 1 のいずれか 1 つに記載のカーボンナノチューブ成形体製造装置であって、

前記カーボンナノチューブシートを幅方向において集めることにより、線状のカーボンナノチューブワイヤを形成するワイヤ形成部をさらに備えることを特徴とするカーボンナノチューブ成形体製造装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載のカーボンナノチューブ成形体製造装置であって、

前記カーボンナノチューブワイヤを加熱する加熱部をさらに備えることを特徴とするカーボンナノチューブ成形体製造装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、カーボンナノチューブ成形体を製造する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、複数のカーボンナノチューブを様々な形状に成形し、電極またはセンサ等の様々な製品に利用することが提案されている。例えば、特許文献 1 では、基板上に立設したカーボンナノチューブの集合であるカーボンナノチューブアレイから、シート状のカーボンナノチューブウェブを引き出す技術が提案されている。また、カーボンナノチューブアレイから線状のカーボンナノチューブワイヤを引き出す技術も提案されている（特許文献 2 ないし特許文献 8）。

【0003】

特許文献 3 では、円筒状の基体の外側面にカーボンナノファイバ集合体を形成し、基体から剥離されたカーボンナノファイバ集合体の先端部からカーボンナノファイバを引き出して撚り合わせる技術が開示されている。特許文献 3 の製造装置では、円筒状の基体を回転させつつ上記製造工程を継続的に行うことにより、長い導電線を形成可能である。当該製造装置では、円筒状の基体から剥離されたカーボンナノファイバ集合体が、基体の径方向に平行な移動方向へと移動し、移動中のカーボンナノファイバ集合体の先端部から、カーボンナノファイバが当該移動方向に平行に引き出される。

10

20

30

40

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開第2016/208342号

【特許文献2】特開2016-160538号公報

【特許文献3】特許第6059089号公報

【特許文献4】特許第5350635号公報

【特許文献5】国際公開第2015/001668号

【特許文献6】特開2011-153392号公報

【特許文献7】特開2014-169521号公報

【特許文献8】特開2006-335624号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、基板上に立設したカーボンナノチューブアレイにピンホールが存在している場合、あるいは、基板上のカーボンナノチューブアレイに異物が含まれている場合、カーボンナノチューブアレイからカーボンナノチューブシートを引き出すと、当該カーボンナノチューブシートに部分欠損が生じるおそれがある。また、当該カーボンナノチューブシートからカーボンナノチューブワイヤを形成すると、カーボンナノチューブワイヤのうち、上記部分欠損に対応する部位の強度が低くなるおそれがある。

20

【0006】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、カーボンナノチューブシートにおける部分欠損を抑制することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項1に記載の発明は、カーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、a) 基板上に立設したカーボンナノチューブの集合であるカーボンナノチューブアレイを準備する工程と、b) 前記カーボンナノチューブアレイと前記基板との接合部に剥離部材を当接させた状態で、前記剥離部材を前記基板に対して相対的に移動することにより、前記カーボンナノチューブアレイを前記基板上から剥離させ、前記カーボンナノチューブアレイのうち前記基板上から剥離した部位である剥離アレイ部を、前記剥離部材に対して所定の剥離部移動方向に相対的に移動させる工程と、c) 前記剥離アレイ部を、前記剥離部移動方向に対して傾斜する引出方向へと引き出すことにより、前記剥離アレイ部の前記引出方向に延びるカーボンナノチューブシートを形成する工程とを備え、前記カーボンナノチューブアレイの嵩密度 $D \text{ mg/cm}^3$ と、前記カーボンナノチューブアレイの厚さ $L \text{ }\mu\text{m}$ との関係が、 $D > 300 \times L^{-0.5}$ である。

30

【0008】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、前記引出方向と前記剥離部移動方向との成す角度の絶対値が45度以下である。

【0009】

請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、前記引出方向が、前記剥離部移動方向から前記剥離アレイ部の下面側に向かって傾斜する。

40

【0010】

請求項4に記載の発明は、請求項1ないし3のいずれか1つに記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、前記剥離アレイ部または前記カーボンナノチューブシートを加熱する工程をさらに備える。

【0011】

請求項5に記載の発明は、請求項1ないし4のいずれか1つに記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、d) 前記c) 工程よりも後に、前記カーボンナノチュー

50

ブシートを幅方向において集めることにより、線状のカーボンナノチューブワイヤを形成する工程をさらに備える。

【0012】

請求項6に記載の発明は、請求項5に記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、前記d)工程において、前記カーボンナノチューブシートが撚られることにより前記カーボンナノチューブワイヤが形成される。

【0013】

請求項7に記載の発明は、請求項5または6に記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、前記d)工程よりも後に、前記カーボンナノチューブワイヤを長手方向に伸張する工程をさらに備える。

【0014】

請求項8に記載の発明は、請求項5ないし7のいずれか1つに記載のカーボンナノチューブ成形体の製造方法であって、前記カーボンナノチューブワイヤを加熱する工程をさらに備える。

【0016】

請求項9に記載の発明は、カーボンナノチューブ成形体製造装置であって、カーボンナノチューブの集合であるカーボンナノチューブアレイが立設した基板を保持する基板保持部と、前記カーボンナノチューブアレイと前記基板との接合部に当接する剥離部材と、前記剥離部材を前記基板に対して相対的に移動することにより、前記カーボンナノチューブアレイを前記基板上から剥離させ、前記カーボンナノチューブアレイのうち前記基板上から剥離した部位である剥離アレイ部を、前記剥離部材に対して所定の剥離部移動方向に相対的に移動させる移動機構と、前記剥離アレイ部を、前記剥離部移動方向に対して傾斜する引出方向へと導くガイド部と、前記剥離アレイ部を前記引出方向へと引き出すことにより、前記剥離アレイ部の前記引出方向に延びるカーボンナノチューブシートを形成する引出機構とを備え、前記ガイド部が、幅方向に延びるとともに前記剥離アレイ部に接するガイド面を備え、前記ガイド面が、前記幅方向の中央部において前記幅方向の両端部よりも凹む凹面である。

請求項10に記載の発明は、カーボンナノチューブ成形体製造装置であって、カーボンナノチューブの集合であるカーボンナノチューブアレイが立設した基板を保持する基板保持部と、前記カーボンナノチューブアレイと前記基板との接合部に当接する剥離部材と、前記剥離部材を前記基板に対して相対的に移動することにより、前記カーボンナノチューブアレイを前記基板上から剥離させ、前記カーボンナノチューブアレイのうち前記基板上から剥離した部位である剥離アレイ部を、前記剥離部材に対して所定の剥離部移動方向に相対的に移動させる移動機構と、前記剥離アレイ部を、前記剥離部移動方向に対して傾斜する引出方向へと導くガイド部と、前記剥離アレイ部を前記引出方向へと引き出すことにより、前記剥離アレイ部の前記引出方向に延びるカーボンナノチューブシートを形成する引出機構と、前記剥離部材と前記ガイド部との間に配置され、前記剥離アレイ部の幅方向の幅よりも小さい幅の溝部を有する中間密集部とを備え、前記剥離アレイ部が前記中間密集部の前記溝部を通過することにより、前記剥離アレイ部のカーボンナノチューブが幅方向に集められる。

【0017】

請求項11に記載の発明は、請求項9または10に記載のカーボンナノチューブ成形体製造装置であって、前記剥離アレイ部または前記カーボンナノチューブシートを加熱する加熱部をさらに備える。

【0018】

請求項12に記載の発明は、請求項9ないし11のいずれか1つに記載のカーボンナノチューブ成形体製造装置であって、前記カーボンナノチューブシートを幅方向において集めることにより、線状のカーボンナノチューブワイヤを形成するワイヤ形成部をさらに備える。

【0019】

請求項 1 3 に記載の発明は、請求項 1 2 に記載のカーボンナノチューブ成形体製造装置であって、前記カーボンナノチューブワイヤを加熱する加熱部をさらに備える。

【発明の効果】

【0022】

本発明では、カーボンナノチューブシートにおける部分欠損を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図 1】第 1 の実施の形態に係る成形体製造装置の側面図である。

【図 2】成形体製造装置の平面図である。

【図 3】カーボンナノチューブアレイの高密度と厚さとの関係を示す図である。

10

【図 4】ガイド部を示す図である。

【図 5】カーボンナノチューブ成形体の製造の流れを示す図である。

【図 6】他の好ましい成形体製造装置を示す側面図である。

【図 7】カーボンナノチューブ成形体の製造の流れの一部を示す図である。

【図 8】他の好ましい成形体製造装置を示す側面図である。

【図 9】カーボンナノチューブ成形体の製造の流れの一部を示す図である。

【図 10】他の好ましい成形体製造装置を示す側面図である。

【図 11】カーボンナノチューブ成形体の製造の流れの一部を示す図である。

【図 12】他の好ましい成形体製造装置を示す側面図である。

【図 13】カーボンナノチューブ成形体の製造の流れの一部を示す図である。

20

【図 14】他の好ましい成形体製造装置を示す平面図である。

【図 15】中間密集部を示す斜視図である。

【図 16】中間密集部を示す斜視図である。

【図 17】他の好ましい成形体製造装置を示す側面図である。

【図 18】他の好ましい成形体製造装置を示す平面図である。

【図 19】第 2 の実施の形態に係る成形体製造装置の側面図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態に係るカーボンナノチューブ成形体製造装置 1 (以下、単に「成形体製造装置 1」と呼ぶ。)を示す側面図である。図 2 は、成形体製造装置 1 を示す平面図である。図 1 および図 2 に示す例では、成形体製造装置 1 は、複数のカーボンナノチューブ(CNT)により形成されるシート状(いわゆる、ウェブ状)のカーボンナノチューブシート、および、線状(いわゆる、糸状)のカーボンナノチューブワイヤを、カーボンナノチューブ成形体として製造する。以下の説明では、図 1 中における上側および下側を、単に「上側」および「下側」と呼ぶ。図 1 中の上下方向は、必ずしも実際の鉛直方向と一致しなくてもよい。

30

【0025】

成形体製造装置 1 は、基板保持部 2 1 と、剥離部材 2 2 と、移動機構 2 3 と、ガイド部 2 4 と、ワイヤ形成部 2 5 と、引出機構 2 6 とを備える。移動機構 2 3 は、基板巻き取りロール 2 3 1 と、回転機構 2 3 2 とを備える。引出機構 2 6 は、成形体巻き取りロール 2 6 1 と、回転機構 2 6 2 とを備える。回転機構 2 3 2, 2 6 2 はそれぞれ、例えば電動モータである。

40

【0026】

基板保持部 2 1 は、多数のカーボンナノチューブの集合であるカーボンナノチューブアレイ 9 1 が立設した基板 9 2 を保持する。基板 9 2 は、例えば、可撓性を有する長尺の薄板状部材である。基板 9 2 は、例えば、シリコン基板、または、表面に二酸化ケイ素膜が設けられたステンレス鋼製の基板である。カーボンナノチューブアレイ 9 1 は、例えば、化学気相成長法(すなわち、CVD法)により、基板 9 2 の表面 9 2 1 に対して略垂直に配向する多数のカーボンナノチューブを基板 9 2 上に成長させることにより形成される。カーボンナノチューブアレイ 9 1 の形成は、他の様々な方法により行われてもよい。

50

【 0 0 2 7 】

カーボンナノチューブアレイ 9 1 の厚さ（すなわち、カーボンナノチューブアレイ 9 1 に含まれるカーボンナノチューブの上下方向における長さ）は、例えば、 $50\ \mu\text{m} \sim 1000\ \mu\text{m}$ である。本実施の形態では、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の厚さは、 $50\ \mu\text{m} \sim 500\ \mu\text{m}$ である。カーボンナノチューブアレイ 9 1 の厚さは、例えば、走査型電子顕微鏡（SEM）（日本電子株式会社製）または非接触膜厚計（株式会社キーエンス製）により測定される。

【 0 0 2 8 】

カーボンナノチューブアレイ 9 1 では、例えば、 $1\ \text{cm}^2$ 当たり 10^9 本 $\sim 10^{11}$ 本のカーボンナノチューブが存在する。隣接するカーボンナノチューブ間の距離は、例えば、 $100\ \text{nm} \sim 200\ \text{nm}$ である。各カーボンナノチューブの外径は、例えば、 $10\ \text{nm} \sim 30\ \text{nm}$ である。各カーボンナノチューブは、例えば、5 層 ~ 10 層の多層カーボンナノチューブである。各カーボンナノチューブは、4 層以下または 11 層以上の多層カーボンナノチューブであってもよく、単層カーボンナノチューブであってもよい。

【 0 0 2 9 】

カーボンナノチューブアレイ 9 1 の嵩密度は、例えば、 $10\ \text{mg}/\text{cm}^3 \sim 60\ \text{mg}/\text{cm}^3$ である。好ましくは、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の嵩密度は、 $20\ \text{mg}/\text{cm}^3 \sim 50\ \text{mg}/\text{cm}^3$ である。カーボンナノチューブアレイ 9 1 の嵩密度は、単位面積当たりのカーボンナノチューブアレイ 9 1 の質量（すなわち、目付量）を、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の厚さで除算することにより求められる。

【 0 0 3 0 】

図 3 は、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の嵩密度と、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の厚さとの関係を示す図である。図 3 中の丸印は、後述するステップ S 1 4 において、カーボンナノチューブワイヤが好適に形成可能であったカーボンナノチューブアレイ 9 1 の条件である。カーボンナノチューブアレイ 9 1 の嵩密度を $D\ (\text{mg}/\text{cm}^3)$ とし、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の厚さを $L\ (\mu\text{m})$ とすると、 $D = 300 \times L^{-0.5}$ であることが好ましい。図 3 中の曲線は、 $D = 300 \times L^{-0.5}$ を示す。

【 0 0 3 1 】

図 1 に示す例では、基板保持部 2 1 は、紙面に垂直な方向に延びる回転軸 J 1 を中心とする略円柱状または略円筒状である。回転軸 J 1 は、成形体製造装置 1 の図示省略のフレーム等に固定されている。基板保持部 2 1 は、基板 9 2 の裏面 9 2 2 に下方から当接することにより、基板 9 2 を保持する。基板 9 2 の裏面 9 2 2 は、例えば、基板保持部 2 1 の上端部から右端部に亘って、基板保持部 2 1 の外側面に当接している。基板 9 2 の先端部は、基板保持部 2 1 の下方に配置された略円柱状または略円筒状の基板巻き取りロール 2 3 1 に巻回されている。

【 0 0 3 2 】

基板巻き取りロール 2 3 1 は、回転機構 2 3 2 により、図 1 において紙面に垂直な方向に延びる回転軸 J 2 を中心として図 1 中の時計回りに回転される。回転軸 J 2 は、上述のフレーム等に固定されている。また、基板保持部 2 1 は、基板巻き取りロール 2 3 1 の回転に伴って（例えば、同期して）、図 1 中の時計回りに回転する。これにより、基板 9 2 が基板巻き取りロール 2 3 1 に巻き取られ、基板保持部 2 1 の上端部近傍において、基板 9 2 が図 1 中の左側から右側に向かう方向に移動する。なお、成形体製造装置 1 では、基板巻き取りロール 2 3 1 が省略され、回転機構 2 3 2 により回転される基板保持部 2 1 により基板 9 2 が巻き取られてもよい。

【 0 0 3 3 】

以下の説明では、基板保持部 2 1 の上端部近傍における基板 9 2 の移動方向を「基板移動方向」と呼び、図 1 において符号 A 1 を付す矢印にて示す。基板移動方向 A 1 は、上下方向に略垂直である。また、以下の説明では、上下方向および基板移動方向 A 1 の双方に垂直な方向（すなわち、図 2 中の上下方向）を「幅方向」と呼ぶ。当該幅方向は、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の幅方向でもあり、後述する剥離アレイ部 9 3 の幅方向でもあ

10

20

30

40

50

る。

【 0 0 3 4 】

剥離部材 2 2 は、基板保持部 2 1 の上端部近傍に配置される。剥離部材 2 2 は、上述のフレーム等に固定されている。剥離部材 2 2 の側面視における形状は、例えば、略くさび状または略平板状である。図 1 に示す例では、剥離部材 2 2 は、左側の端部の厚さが、右側の端部の厚さよりも小さい略くさび状の部材である。剥離部材 2 2 の上面は、例えば、図 1 中の右側に向かうに従って上方へと向かう傾斜面である。

【 0 0 3 5 】

剥離部材 2 2 の左側の端部（すなわち、エッジ部）は、基板保持部 2 1 の上端の上方において、カーボンナノチューブアレイ 9 1 と基板 9 2 との接合部（すなわち、基板 9 2 上に立設しているカーボンナノチューブアレイ 9 1 の下端部）に当接する。剥離部材 2 2 の幅方向の幅は、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の幅方向の幅よりも大きい。剥離部材 2 2 は、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の全幅に亘って、カーボンナノチューブアレイ 9 1 と基板 9 2 との接合部に当接する。なお、剥離部材 2 2 は、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の幅方向の一部においてのみ、カーボンナノチューブアレイ 9 1 と基板 9 2 との接合部に当接してもよい。

10

【 0 0 3 6 】

基板保持部 2 1 の上端部近傍では、移動機構 2 3 により基板 9 2 が基板移動方向 A 1 に移動することにより、カーボンナノチューブアレイ 9 1 のうち剥離部材 2 2 のエッジ部に当接した部位が、基板 9 2 の表面 9 2 1 から剥離される。カーボンナノチューブアレイ 9 1 のうち、基板 9 2 上から剥離した部位を、「剥離アレイ部 9 3」と呼ぶ。図 2 では、カーボンナノチューブアレイ 9 1 および剥離アレイ部 9 3 に平行斜線を付す。なお、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の剥離の際には、必ずしも基板 9 2 が移動する必要はなく、後述するように、固定されている基板 9 2 の表面 9 2 1 に沿って剥離部材 2 2 が移動してもよい。換言すれば、剥離部材 2 2 が基板 9 2 に対して相対的に移動することにより、カーボンナノチューブアレイ 9 1 が基板 9 2 から剥離される。

20

【 0 0 3 7 】

基板 9 2 から剥離された剥離アレイ部 9 3 は、移動機構 2 3 による基板 9 2 の移動に伴って、剥離部材 2 2 の上面に沿って図 1 中の右側（すなわち、基板保持部 2 1 の上端部から離れる方向）へと移動し、剥離部材 2 2 に隣接して配置されるガイド部 2 4 へと至る。ガイド部 2 4 は、図 1 中における基板保持部 2 1 の右斜め上に位置している。ガイド部 2 4 は、剥離アレイ部 9 3 の下側に配置され、剥離アレイ部 9 3 の下面に接触する。

30

【 0 0 3 8 】

以下の説明では、剥離部材 2 2 上からガイド部 2 4 へと至る剥離アレイ部 9 3 の移動方向を、「剥離部移動方向 A 2」と呼ぶ。剥離部移動方向 A 2 は、側面視において、基板移動方向 A 1 から上側（すなわち、剥離アレイ部 9 3 の上面側）に向かって傾斜している。剥離部移動方向 A 2 と基板移動方向 A 1 との成す角度は、例えば、5 度～10 度である。剥離部移動方向 A 2 は、上下方向に対しても傾斜している。また、剥離部移動方向 A 2 は、幅方向に対して垂直である。基板 9 2 から剥離された直後の剥離アレイ部 9 3 の移動方向を「剥離方向」と呼ぶと、図 1 に示す例では、剥離方向は剥離部移動方向 A 2 と同じである。

40

【 0 0 3 9 】

図 4 は、ガイド部 2 4 を図 1 中の右側から見た図である。図 4 では、ガイド部 2 4 上の剥離アレイ部 9 3 も併せて図示する。ガイド部 2 4 は、幅方向に延びる回転軸 J 3 を中心とする略円柱状または略円筒状の部材である。ガイド部 2 4 は、回転軸 J 3 を中心として図 1 中の時計回りに回転する。回転軸 J 3 は、上述のフレーム等に固定されている。ガイド部 2 4 の外側面は、剥離アレイ部 9 3 の下面に接して剥離アレイ部 9 3 をガイドするガイド面 2 4 1 である。

【 0 0 4 0 】

図 4 に示す例では、ガイド部 2 4 は略鼓状の部材である。換言すれば、ガイド部 2 4 の

50

直径は、幅方向の両端部から中央部に向かうに従って漸次減少する。ガイド面 2 4 1 は、幅方向に延びる曲面である。具体的には、ガイド面 2 4 1 は、幅方向の中央部において幅方向の両端部よりも凹む凹面である。

【 0 0 4 1 】

ガイド部 2 4 の上端部に到達した剥離アレイ部 9 3 は、引出機構 2 6 により所定の引出方向 A 3 へと引き出される。これにより、剥離アレイ部 9 3 の引出方向 A 3 に延びるカーボンナノチューブシート 9 4 が形成される。カーボンナノチューブシート 9 4 は、剥離アレイ部 9 3 の幅方向に広がっている。図 2 に示す例では、カーボンナノチューブシート 9 4 は、略矩形形状の部位の引出方向 A 3 前側に略三角形形状の部位が連続した形状である。カーボンナノチューブシート 9 4 の形状は様々に変更されてよく、例えば、ガイド部 2 4 から引出方向 A 3 に離れるに従って幅方向の幅が漸次減少する略三角形形状であってもよい。カーボンナノチューブシート 9 4 は、幅方向の幅に比べて引出方向 A 3 の長さが非常に小さい扁平な略三角形形状であってもよい。

10

【 0 0 4 2 】

カーボンナノチューブシート 9 4 は、複数のカーボンナノチューブにより形成されたシート状のカーボンナノチューブ成形体である。詳細には、カーボンナノチューブシート 9 4 は、剥離アレイ部 9 3 から引出方向 A 3 に引き出された複数のカーボンナノチューブ単糸が、幅方向に配列されるとともに互いに連結されてシート状成形体（網目状成形体とも捉えられる。）となったものである。カーボンナノチューブ単糸とは、ファンデンワールス力等により、複数のカーボンナノチューブが長手方向に連続して接続された線状のカーボンナノチューブ成形体である。

20

【 0 0 4 3 】

引出方向 A 3 は、側面視において、剥離部移動方向 A 2 から下側（すなわち、剥離アレイ部 9 3 の下面側）に向かって傾斜している。換言すれば、引出方向 A 3 は、剥離アレイ部 9 3 の上面を含む仮想面（すなわち、剥離部移動方向 A 2 および幅方向に平行な仮想面）から下側に向かって傾斜している。成形体製造装置 1 では、ガイド部 2 4 は、剥離アレイ部 9 3 の移動方向を制限して、剥離アレイ部 9 3 を剥離部移動方向 A 2 に対して傾斜する引出方向 A 3 へと導く構造である。引出方向 A 3 と剥離部移動方向 A 2 との成す角度の絶対値は、例えば、0 度よりも大きく、かつ、4 5 度以下である。角度 はの絶対値は、好ましくは 3 0 度以下であり、より好ましくは 2 0 度以下である。図 1 に示す例では、引出方向 A 3 は、幅方向に対して垂直である。また、図 1 に示す例では、引出方向 A 3 は、基板移動方向 A 1 に略平行である。

30

【 0 0 4 4 】

剥離アレイ部 9 3 から引き出されたカーボンナノチューブシート 9 4 は、ワイヤ形成部 2 5 を通過する。ワイヤ形成部 2 5 では、カーボンナノチューブシート 9 4 が幅方向において集められることにより、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 が形成される。カーボンナノチューブワイヤ 9 5 は、複数のカーボンナノチューブにより形成された線状のカーボンナノチューブ成形体である。ワイヤ形成部 2 5 では、カーボンナノチューブシート 9 4 が幅方向の中央部に向かって集められ、多数のカーボンナノチューブが幅方向において密着する。

40

【 0 0 4 5 】

図 1 に示す例では、ワイヤ形成部 2 5 は、幅方向に集められたカーボンナノチューブシート 9 4 の複数のカーボンナノチューブ単糸を撚ることによりカーボンナノチューブワイヤ 9 5 を形成する撚り機である。すなわち、ワイヤ形成部 2 5 通過前の略線状に集められたカーボンナノチューブ成形体が、ワイヤ形成部 2 5 によって撚られることにより、カーボンナノチューブ撚糸であるカーボンナノチューブワイヤ 9 5 が形成される。換言すれば、カーボンナノチューブシート 9 4 は、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 の前駆体である。

【 0 0 4 6 】

ワイヤ形成部 2 5 を通過後のカーボンナノチューブワイヤ 9 5 は、引出機構 2 6 におい

50

て、回転機構 262 により回転される成形体巻き取りロール 261 に巻き取られる。成形体巻き取りロール 261 は、ワイヤ形成部 25 の右側に配置される略円柱状または略円筒状の部材である。成形体巻き取りロール 261 は、幅方向に延びる回転軸 J4 を中心として図 1 中の時計回りに回転される。回転軸 J4 は、上述のフレーム等に固定されている。

【0047】

図 5 は、成形体製造装置 1 によるカーボンナノチューブ成形体の製造の流れを示す図である。成形体製造装置 1 では、まず、基板 92 上に立設したカーボンナノチューブの集合であるカーボンナノチューブアレイ 91 が準備される（ステップ S11）。続いて、カーボンナノチューブアレイ 91 と基板 92 との接合部に剥離部材 22 を当接させた状態で、剥離部材 22 を基板 92 に対して相対的に移動することにより、カーボンナノチューブアレイ 91 を基板 92 上から剥離させる。そして、カーボンナノチューブアレイ 91 のうち基板 92 上から剥離した部位である剥離アレイ部 93 を、剥離部材 22 に対して所定の剥離部移動方向 A2 に相対的に移動させる（ステップ S12）。その後、剥離アレイ部 93 を、剥離部移動方向 A2 に対して傾斜する引出方向 A3 へと引き出すことにより、剥離アレイ部 93 の引出方向 A3 に延びるカーボンナノチューブシート 94 が形成される（ステップ S13）。

【0048】

上述のステップ S11 ~ S13 が行われることにより、基板 92 上のカーボンナノチューブアレイ 91 にピンホールが存在している場合、あるいは、基板 92 上のカーボンナノチューブアレイ 91 に異物が含まれている場合等であっても、カーボンナノチューブシート 94 における部分欠損を抑制することができる。詳細には、剥離アレイ部 93 に含まれるカーボンナノチューブは、基板 92 により移動が制限されていないため、剥離アレイ部 93 に上述のピンホールまたは異物等に起因する空隙が存在する場合、空隙の周囲のカーボンナノチューブが当該空隙を埋めるように移動する。さらに、空隙の剥離部移動方向 A2 の後側に位置するカーボンナノチューブが、引き出される力に抗して基板 92 上に残ることが防止される。これにより、剥離アレイ部 93 から引き出されるカーボンナノチューブシート 94 において、当該空隙に起因する部分欠損が発生することが抑制される。また、成形体製造装置 1 では、引出方向 A3 が剥離部移動方向 A2 に対して傾斜することにより、成形体製造装置 1 が剥離部移動方向 A2 に大型化することを抑制しつつ、カーボンナノチューブシート 94 を好適に製造することができる。

【0049】

上記ステップ S11 ~ S13 を行うために、図 1 に例示する成形体製造装置 1 は、上述の基板保持部 21 と、剥離部材 22 と、移動機構 23 と、ガイド部 24 と、引出機構 26 とを備える。基板保持部 21 は、カーボンナノチューブアレイ 91 が立設した基板 92 を保持する。剥離部材 22 は、カーボンナノチューブアレイ 91 と基板 92 との接合部に当接する。移動機構 23 は、剥離部材 22 を基板 92 に対して相対的に移動することにより、カーボンナノチューブアレイ 91 を基板 92 上から剥離させ、剥離アレイ部 93 を剥離部材 22 に対して剥離部移動方向 A2 に相対的に移動する。ガイド部 24 は、剥離アレイ部 93 を、剥離部移動方向 A2 に対して傾斜する引出方向 A3 へと導く。引出機構 26 は、剥離アレイ部 93 を引出方向 A3 へと引き出すことにより、剥離アレイ部 93 の引出方向 A3 に延びるカーボンナノチューブシート 94 を形成する。

【0050】

ステップ S13 が終了すると、カーボンナノチューブシート 94 が幅方向において集められることにより、線状のカーボンナノチューブワイヤ 95 が形成される（ステップ S14）。図 1 に例示する成形体製造装置 1 では、ステップ S14 は、ワイヤ形成部 25 により行われる。上述のように、成形体製造装置 1 では、カーボンナノチューブシート 94 の部分欠損が抑制されるため、カーボンナノチューブワイヤ 95 の長手方向における密度の均一性を向上することができる。その結果、製造途上におけるカーボンナノチューブワイヤ 95 の破損および切断を防止することができる。

【0051】

10

20

30

40

50

ステップS 1 4では、カーボンナノチューブシート9 4が燃られることにより、カーボンナノチューブワイヤ9 5が形成される。これにより、高密度なカーボンナノチューブワイヤ9 5を製造することができる。その結果、カーボンナノチューブワイヤ9 5の引張強度を向上することができる。

【 0 0 5 2 】

上述のように、引出方向A 3と剥離部移動方向A 2との成す角度の絶対値は4 5度以下である。これにより、剥離アレイ部9 3から引出方向A 3に引き出されるカーボンナノチューブ単系の引張強度（すなわち、カーボンナノチューブ単系におけるカーボンナノチューブ同士の接続強度）が、過剰に小さくなることを防止することができる。その結果、製造途上におけるカーボンナノチューブシート9 4の破損および切断、および、カーボンナノチューブワイヤ9 5の破損および切断を、さらに好適に防止することができる。

10

【 0 0 5 3 】

また、引出方向A 3は、剥離部移動方向A 2から剥離アレイ部9 3の下面側に向かって傾斜する。このため、剥離部材2 2の上面に沿って剥離部移動方向A 2に移動する剥離アレイ部9 3が、剥離部材2 2により支持されている側へと引き出される。これにより、剥離アレイ部9 3を支持する部材を剥離部材2 2とは別に設けることなく、カーボンナノチューブシート9 4を引出方向A 3へと容易に引き出すことができる。また、成形体製造装置1が上下方向に大型化することを抑制することができる。

【 0 0 5 4 】

上述のように、カーボンナノチューブシート9 4およびカーボンナノチューブワイヤ9 5の製造では、カーボンナノチューブアレイ9 1の高密度 D (mg/cm^3)と、カーボンナノチューブアレイ9 1の厚さ L (μm)との関係が、 $D = 300 \times L^{-0.5}$ であることが好ましい。これにより、カーボンナノチューブシート9 4およびカーボンナノチューブワイヤ9 5の製造途上における破損および切断を防止しつつ、カーボンナノチューブシート9 4およびカーボンナノチューブワイヤ9 5を好適に製造することができる。

20

【 0 0 5 5 】

成形体製造装置1では、上述のように、ガイド部2 4が、幅方向に延びるとともに剥離アレイ部9 3に接するガイド面2 4 1を備える。ガイド面2 4 1は、幅方向の中央部において、幅方向の両端部よりも凹む凹面である。このため、ガイド部2 4上に位置するカーボンナノチューブを幅方向の中央部に集めることができる。これにより、ワイヤ形成部2 5によりカーボンナノチューブを幅方向において集めることを容易とすることができる。その結果、ワイヤ形成部2 5におけるカーボンナノチューブワイヤ9 5の形成を容易とすることができる。

30

【 0 0 5 6 】

図6は、他の好ましい成形体製造装置1 aを示す側面図である。成形体製造装置1 aは、図1に示す成形体製造装置1の各構成に加えて、チャンバ3 1と、加熱部3 2とをさらに備える。図6では、チャンバ3 1を断面にて図示している。チャンバ3 1の内部には、例えば、基板保持部2 1、剥離部材2 2、移動機構2 3、ガイド部2 4、ワイヤ形成部2 5および引出機構2 6が収容される。チャンバ3 1の内部空間は密閉空間である。チャンバ3 1の内部空間は、好ましくは不活性ガス雰囲気である。当該不活性ガスとしては、例えば窒素(N_2)が使用される。

40

【 0 0 5 7 】

図6に示す例では、加熱部3 2は、剥離部材2 2とガイド部2 4との間に配置され、剥離アレイ部9 3を加熱する。換言すれば、図7に示すように、ステップS 1 2におけるカーボンナノチューブアレイ9 1の基板9 2からの剥離（すなわち、剥離アレイ部9 3の形成）と、ステップS 1 3におけるカーボンナノチューブシート9 4の形成との間に、剥離アレイ部9 3を加熱する工程（ステップS 1 2 1）が行われる。これにより、剥離アレイ部9 3のカーボンナノチューブを高結晶化することができる。その結果、ステップS 1 3で形成されるカーボンナノチューブシート9 4の電気抵抗を低減することができる。また、ステップS 1 4で形成されるカーボンナノチューブワイヤ9 5の電気抵抗を低減するこ

50

ともできる。例えば、加熱部 3 2 による加熱により、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 の電気抵抗は、約半分になる。

【 0 0 5 8 】

加熱部 3 2 は、例えば、誘導加熱によって剥離アレイ部 9 3 を加熱する。加熱部 3 2 は、例えば、黒鉛製またはガラス製の矩形管と、高周波誘導加熱電極とを備える。加熱部 3 2 として、レーザー照射により剥離アレイ部 9 3 を加熱するものが利用されてもよい。

【 0 0 5 9 】

成形体製造装置 1 a では、図 8 に示すように、加熱部 3 2 が、ガイド部 2 4 とワイヤ形成部 2 5 との間に配置され、カーボンナノチューブシート 9 4 を加熱してもよい。換言すれば、図 9 に示すように、ステップ S 1 3 におけるカーボンナノチューブシート 9 4 の形成と、ステップ S 1 4 におけるカーボンナノチューブワイヤ 9 5 の形成との間に、カーボンナノチューブシート 9 4 を加熱する工程（ステップ S 1 3 1）が行われてもよい。これにより、カーボンナノチューブシート 9 4 の高密度化、および、カーボンナノチューブシート 9 4 のカーボンナノチューブを高結晶化することができる。その結果、カーボンナノチューブシート 9 4 の電気抵抗を低減することができる。また、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 の電気抵抗を低減することもできる。

【 0 0 6 0 】

成形体製造装置 1 a では、図 1 0 に示すように、加熱部 3 2 が、ワイヤ形成部 2 5 と引出機構 2 6 との間に配置され、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 を加熱してもよい。換言すれば、図 1 1 に示すように、ステップ S 1 4 におけるカーボンナノチューブワイヤ 9 5 の形成の後に、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 を加熱する工程（ステップ S 1 4 1）が行われてもよい。これにより、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 のカーボンナノチューブを高結晶化することができる。その結果、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 の電気抵抗を低減することができる。なお、成形体製造装置 1 a では、剥離アレイ部 9 3、カーボンナノチューブシート 9 4 およびカーボンナノチューブワイヤ 9 5 のうち、2 つ以上の部位が加熱部 3 2 により加熱されてもよい。

【 0 0 6 1 】

成形体製造装置 1 a では、チャンバ 3 1 内を不活性ガス雰囲気とすることにより、剥離アレイ部 9 3、カーボンナノチューブシート 9 4 およびカーボンナノチューブワイヤ 9 5 が、加熱部 3 2 による加熱によって酸素により燃焼することを防止することができる。なお、成形体製造装置 1 a では、剥離アレイ部 9 3、カーボンナノチューブシート 9 4 およびカーボンナノチューブワイヤ 9 5 のうち、加熱部 3 2 により加熱される部位のみが、不活性ガス雰囲気とされたチャンバ 3 1 内に収容されてもよい。

【 0 0 6 2 】

図 1 2 は、他の好ましい成形体製造装置 1 b を示す側面図である。成形体製造装置 1 b は、図 1 に示す成形体製造装置 1 の各構成に加えて、伸張機構 2 7 をさらに備える。伸張機構 2 7 は、ワイヤ巻き取りロール 2 7 1 と、回転機構 2 7 2 とを備える。

【 0 0 6 3 】

ワイヤ巻き取りロール 2 7 1 は、引出機構 2 6 の成形体巻き取りロール 2 6 1 の下側に配置される略円柱状または略円筒状の部材である。ワイヤ巻き取りロール 2 7 1 は、例えば、幅方向に延びる回転軸 J 5 を中心として、回転機構 2 7 2 により図 1 2 中の時計回りに回転される。回転軸 J 5 は、上述のフレーム等に固定されている。回転機構 2 7 2 は、例えば電動モータである。

【 0 0 6 4 】

成形体巻き取りロール 2 6 1 に巻回されたカーボンナノチューブワイヤ 9 5 は、成形体巻き取りロール 2 6 1 から下方へと延びてワイヤ巻き取りロール 2 7 1 に巻回される。回転機構 2 7 2 によりワイヤ巻き取りロール 2 7 1 が回転されることにより、成形体巻き取りロール 2 6 1 に巻回されているカーボンナノチューブワイヤ 9 5 が、ワイヤ巻き取りロール 2 7 1 に巻き取られる。回転機構 2 7 2 によるワイヤ巻き取りロール 2 7 1 の回転速度は、回転機構 2 6 2 による成形体巻き取りロール 2 6 1 の回転速度とは独立して制御さ

10

20

30

40

50

れる。

【 0 0 6 5 】

成形体製造装置 1 b では、ワイヤ巻き取りロール 2 7 1 によるカーボンナノチューブワイヤ 9 5 の巻き取り速度が、成形体巻き取りロール 2 6 1 からのカーボンナノチューブワイヤ 9 5 の送出速度（すなわち、成形体巻き取りロール 2 6 1 によるカーボンナノチューブワイヤ 9 5 の巻き取り速度）よりも大きい。このため、成形体巻き取りロール 2 6 1 とワイヤ巻き取りロール 2 7 1 との間で、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 が長手方向に伸張される。伸張機構 2 7 では、好ましくは、成形体巻き取りロール 2 6 1 とワイヤ巻き取りロール 2 7 1 との間におけるカーボンナノチューブワイヤ 9 5 の伸張時の荷重が一定に維持される。

10

【 0 0 6 6 】

成形体製造装置 1 b では、図 1 3 に示すように、ステップ S 1 4 におけるカーボンナノチューブワイヤ 9 5 の形成よりも後に、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 を長手方向に伸張する工程（ステップ S 1 4 2）が行われる。これにより、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 を高密度化して、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 の引張強度を増大することができる。また、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 の伸張時の荷重が一定に維持されることにより、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 の密度の長手方向における均一性を向上することができる。

【 0 0 6 7 】

図 1 4 は、他の好ましい成形体製造装置 1 c を示す平面図である。成形体製造装置 1 c は、図 1 に示す成形体製造装置 1 の各構成に加えて、中間密集部 5 1 をさらに備える。中間密集部 5 1 は、剥離部材 2 2 とガイド部 2 4 との間に配置される。中間密集部 5 1 は、剥離アレイ部 9 3 の幅方向の幅よりも小さい幅の溝部 5 2 を有する。成形体製造装置 1 c では、剥離アレイ部 9 3 が中間密集部 5 1 の溝部 5 2 を通過することにより、剥離アレイ部 9 3 のカーボンナノチューブが幅方向に集められる。これにより、比較的幅が小さく高密度なカーボンナノチューブシート 9 4 を容易に製造することができる。その結果、幅方向においてカーボンナノチューブシート 9 4 を容易に集めることができるため、カーボンナノチューブワイヤ 9 5 の製造を容易とすることができる。

20

【 0 0 6 8 】

また、剥離アレイ部 9 3 の幅方向の中央部から引き出されるカーボンナノチューブ単糸と、剥離アレイ部 9 3 の幅方向の端部から引き出されるカーボンナノチューブ単糸とにおいて、カーボンナノチューブの絡み合いの程度の差を小さくすることもできる。換言すれば、剥離アレイ部 9 3 から引き出されるカーボンナノチューブ単糸の密度を、幅方向において均等化することができる。その結果、カーボンナノチューブシート 9 4 およびカーボンナノチューブワイヤ 9 5 の引張強度を向上することができる。

30

【 0 0 6 9 】

図 1 4 に示す例では、中間密集部 5 1 は、略直方体状の部材である。中間密集部 5 1 の上部には、剥離部移動方向 A 2 に延びる溝部 5 2 が設けられている。溝部 5 2 の幅方向の幅は、剥離部移動方向 A 2 の前方に向かうに従って（すなわち、ガイド部 2 4 に近づくに従って）漸次減少する。溝部 5 2 の剥離部移動方向 A 2 の後端の幅は、例えば、剥離アレイ部 9 3 の幅方向の幅と略同じである。

40

【 0 0 7 0 】

なお、中間密集部 5 1 および溝部 5 2 の形状は様々に変更されてよい。例えば、図 1 5 に示す中間密集部 5 1 a は、略直方体状の部材上に、幅方向に並ぶ 2 本の円柱部材が立設されたものである。この場合、上下方向に延びる当該 2 本の円柱部材の間の空間が溝部 5 2 a である。当該 2 本の円柱部材の幅方向の間隔を変更することにより、溝部 5 2 a の幅を容易に変更することができる。各円柱部材は、上下方向に延びる中心軸を中心として回転可能であってもよい。これにより、2 本の円柱部材の間の溝部 5 2 a を通過する剥離アレイ部 9 3 と、各円柱部材との摩擦を低減することができる。

【 0 0 7 1 】

50

また、図16に例示する中間密集部51bは、幅方向に延びる回転軸を中心とする略円筒状の部材である。溝部52bは、当該円筒状部材の外側面において、全周に亘って径方向内方へと凹む凹部である。中間密集部51bは、上記回転軸を中心として回転する。これにより、溝部52bを通過する剥離アレイ部93と、中間密集部51bとの摩擦を低減することができる。中間密集部51bの溝部52bは、上記円筒状部材の外側面において、幅方向に延びる螺旋状に設けられてもよい。換言すれば、中間密集部51bはネジ構造を有していてもよい。

【0072】

図17は、他の好ましい成形体製造装置1dを示す側面図である。成形体製造装置1dでは、剥離アレイ部93からカーボンナノチューブシート94が引き出される方向である引出方向A3が、側面視において、剥離部移動方向A2から上側（すなわち、剥離アレイ部93の上面側）に向かって傾斜している。換言すれば、引出方向A3は、剥離アレイ部93の下面を含む仮想面（すなわち、剥離部移動方向A2および幅方向に平行な仮想面）から上側に向かって傾斜している。また、引出方向A3は、幅方向に対して垂直である。

【0073】

成形体製造装置1dでは、ガイド部24が剥離アレイ部93の上側に配置され、剥離アレイ部93の上面に接触する。ガイド部24は、剥離アレイ部93の移動方向を制限して、剥離アレイ部93を剥離部移動方向A2に対して傾斜する引出方向A3へと導く構造である。引出方向A3と剥離部移動方向A2との成す角度の絶対値は、例えば、0度よりも大きく、かつ、45度以下である。角度の絶対値は、好ましくは30度以下であり、より好ましくは20度以下である。ガイド部24の下方には、剥離アレイ部93の下側に配置されて剥離アレイ部93を支持する支持ローラ242が設けられる。

【0074】

成形体製造装置1dでは、剥離部材22のエッジ部とガイド部24との間において剥離アレイ部93の上面に接触する押さえ板53をさらに備える。押さえ板53は、剥離アレイ部93の幅方向の全幅に亘って設けられる。また、押さえ板53は、基板保持部21の上端の上方の位置からガイド部24近傍まで延びる。押さえ板53は、剥離部材22により基板92から剥離された剥離アレイ部93が、引出方向A3に引っ張られることにより剥離部材22から上方に離間する（すなわち、剥離部材22から浮く）ことを防止することができる。これにより、剥離アレイ部93からカーボンナノチューブシート94を好適に引き出すことができる。

【0075】

図18は、他の好ましい成形体製造装置1eを示す平面図である。成形体製造装置1eでは、1枚の基板92上において、複数のカーボンナノチューブアレイ91が幅方向に配列される。複数のカーボンナノチューブアレイ91は、例えば、基板92上に形成された1つの大きなカーボンナノチューブアレイに対して、レーザー光を幅方向に垂直な方向に走査することにより、当該カーボンナノチューブアレイを幅方向に分割することにより形成される。図18に示す例では、3つのカーボンナノチューブアレイ91が基板92上に配置される。

【0076】

成形体製造装置1eでは、上述の成形体製造装置1と同様の構造により、各カーボンナノチューブアレイ91からカーボンナノチューブシート94が引き出され、カーボンナノチューブワイヤ95が形成される。そして、3つのカーボンナノチューブアレイ91から引き出された3本のカーボンナノチューブワイヤ95が、撚り機である共通ワイヤ形成部25eにより撚り合わされることにより、1本の大径のカーボンナノチューブワイヤ95eが形成される。カーボンナノチューブワイヤ95eは、引出機構26の成形体巻き取りロール261に巻き取られる。なお、大径のカーボンナノチューブワイヤ95eは、例えば、3枚の基板92上に個別に設けられた3つのカーボンナノチューブアレイ91から3本のカーボンナノチューブワイヤ95が引き出され、当該3本のカーボンナノチューブワイヤ95が撚り合わされることにより形成されてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 7 】

図 1 9 は、本発明の第 2 の実施の形態にかかる成形体製造装置 1 f の側面図である。成形体製造装置 1 f では、基板 9 2 を移動する移動機構 2 3 (図 1 参照) に代えて、剥離部材 2 2 を移動する移動機構 2 3 f が設けられる。成形体製造装置 1 f では、剥離部材 2 2 が、基台 1 0 上に保持されて移動しない基板 9 2 の表面 9 2 1 に沿って、図中の右側から左側へと移動する。このように、剥離部材 2 2 が基板 9 2 に対して相対的に移動することにより、カーボンナノチューブアレイ 9 1 が基板 9 2 から剥離され、剥離アレイ部 9 3 が剥離部移動方向 A 2 へと移動する。

【 0 0 7 8 】

図 1 9 に示す例では、移動機構 2 3 f は、剥離部材 2 2 の上方に固定されたガイドレール 2 3 3、図示省略のボールネジおよびモータを含むリニアガイド機構である。移動機構 2 3 f の構造は様々に変更されてよい。また、図 1 9 に示す例では、剥離部材 2 2 は、支持部材 2 3 4 を介してガイド部 2 4、ワイヤ形成部 2 5 および引出機構 2 6 と連結されており、ガイド部 2 4、ワイヤ形成部 2 5 および引出機構 2 6 と共に移動機構 2 3 f により移動する。これにより、剥離部材 2 2、ガイド部 2 4、ワイヤ形成部 2 5 および引出機構 2 6 の相対位置が固定されるため、引出機構 2 6 による引き出し速度等の制御を簡素化することができる。その結果、カーボンナノチューブ成形体 (すなわち、カーボンナノチューブシート 9 4 およびカーボンナノチューブワイヤ 9 5) の形成を好適に行うことができる。

【 0 0 7 9 】

上述のカーボンナノチューブ成形体の製造方法、および、成形体製造装置 1 , 1 a ~ 1 f では、様々な変更が可能である。

【 0 0 8 0 】

例えば、図 1 に示す成形体製造装置 1 では、剥離部材 2 2 のエッジ部に超音波振動が付与されてもよい。これにより、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の基板 9 2 からの剥離を容易とすることができる。また、ガイド部 2 4 は必ずしも回転しなくてもよい。ガイド部 2 4 は、剥離部材 2 2 と一繋がり部材であってもよい。成形体製造装置 1 a ~ 1 f においても同様である。

【 0 0 8 1 】

成形体製造装置 1 では、ワイヤ形成部 2 5 と引出機構 2 6 とが個別に設けられる例を示しているが、ワイヤ形成部 2 5 と引出機構 2 6 とが 1 つの機構に含まれていてもよい。当該 1 つの機構は、例えば、カーボンナノチューブシート 9 4 を線状に撚り合わせつつ巻き取る機構である。成形体製造装置 1 a ~ 1 f においても同様である。

【 0 0 8 2 】

上述のカーボンナノチューブ成形体の製造では、引出方向 A 3 と剥離部移動方向 A 2 との成す角度の絶対値は、45 度よりも大きいてもよい。また、引出方向 A 3 は、必ずしも幅方向に垂直である必要はなく、側面視において剥離部移動方向 A 2 に対して傾斜しているのであれば、幅方向の一方側に傾斜していてもよい。さらには、カーボンナノチューブアレイ 9 1 の嵩密度 D (mg / cm^3) と厚さ L (μm) との関係は、 $D < 300 \times L^{-0.5}$ であってもよい。

【 0 0 8 3 】

成形体製造装置 1 により形成されるカーボンナノチューブワイヤ 9 5 は、必ずしもカーボンナノチューブ撚糸である必要はなく、撚られていないカーボンナノチューブ無撚糸であってもよい。この場合、ワイヤ形成部 2 5 は、例えば、カーボンナノチューブシート 9 4 に含まれる複数のカーボンナノチューブ単系に圧縮空気を吹き付けて結束させる加工 (いわゆる、タスラン加工) を施す機構であってもよい。あるいは、ワイヤ形成部 2 5 は、複数のカーボンナノチューブ単系を通過させてカーボンナノチューブワイヤ 9 5 を形成する細孔が設けられたダイスであってもよい。成形体製造装置 1 a ~ 1 f についても同様である。

【 0 0 8 4 】

10

20

30

40

50

成形体製造装置 1 では、ワイヤ形成部 2 5 が省略され、剥離アレイ部 9 3 と略同じ幅の矩形状のカーボンナノチューブシート 9 4 が、カーボンナノチューブ成形体として製造されてもよい。成形体製造装置 1 a ~ 1 f についても同様である。

【 0 0 8 5 】

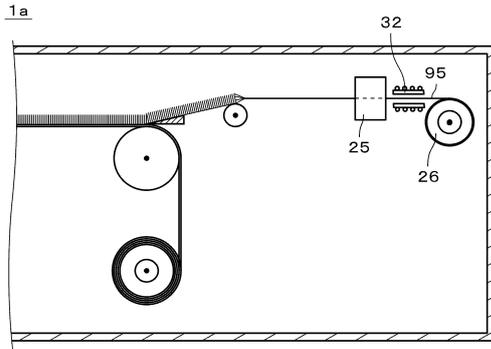
上記実施の形態および各変形例における構成は、相互に矛盾しない限り適宜組み合わせられてよい。

【符号の説明】

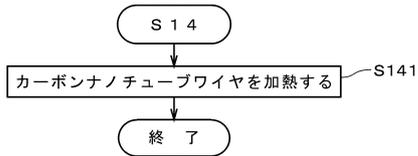
【 0 0 8 6 】

1 , 1 a ~ 1 f	カーボンナノチューブ成形体製造装置	
4	伸張機構	10
2 1	基板保持部	
2 2	剥離部材	
2 3 , 2 3 f	移動機構	
2 4	ガイド部	
2 5	ワイヤ形成部	
2 5 e	共通ワイヤ形成部	
2 6	引出機構	
3 2	加熱部	
5 1 , 5 1 a , 5 1 b	中間密集部	
5 2 , 5 2 a , 5 2 b	溝部	20
9 1	カーボンナノチューブアレイ	
9 2	基板	
9 3	剥離アレイ部	
9 4	カーボンナノチューブシート	
9 5 , 9 5 e	カーボンナノチューブワイヤ	
2 4 1	ガイド面	
A 1	基板移動方向	
A 2	剥離部移動方向	
A 3	引出方向	
S 1 1 ~ S 1 4 , S 1 2 1 , S 1 3 1 , S 1 4 1 , S 1 4 2	ステップ	30

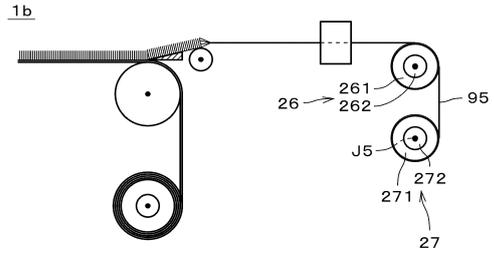
【図10】



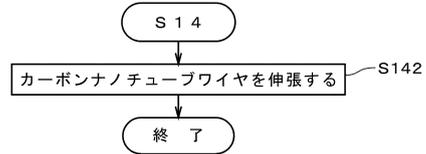
【図11】



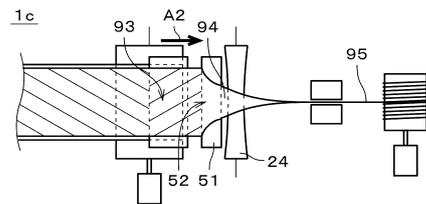
【図12】



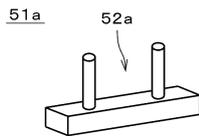
【図13】



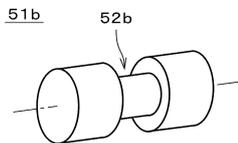
【図14】



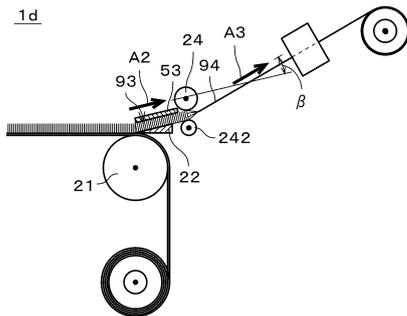
【図15】



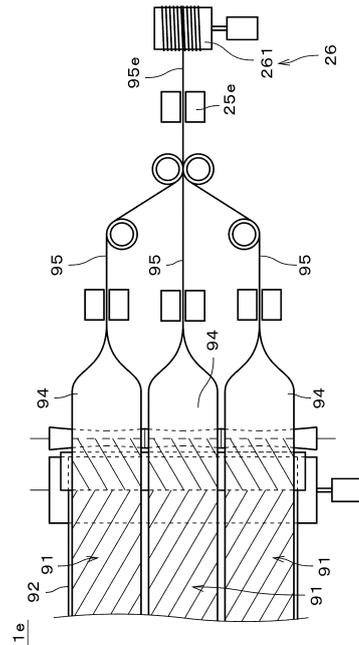
【図16】



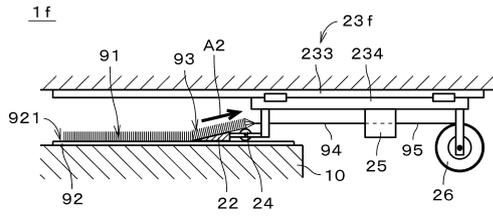
【図17】



【図18】



【 19】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
D 0 2 G 3/16 (2006.01) D 0 2 G 3/16
D 0 2 J 1/22 (2006.01) D 0 2 J 1/22 J

(72)発明者 藤本 典史
大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番89号 日立造船株式会社内

審査官 青木 千歌子

(56)参考文献 特表2008-523254(JP,A)
特開2014-237563(JP,A)
国際公開第2017/115832(WO,A1)
国際公開第2016/136826(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C 0 1 B 3 2 / 1 6 8
H 0 1 B 1 3 / 0 0
H 0 1 B 1 / 0 4
H 0 1 B 5 / 0 2
D 0 2 G 3 / 1 6
D 0 2 J 1 / 2 2